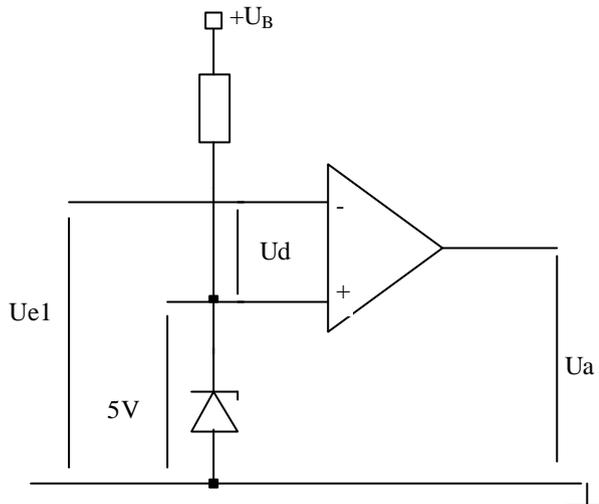


III.5 Grundsaltungen

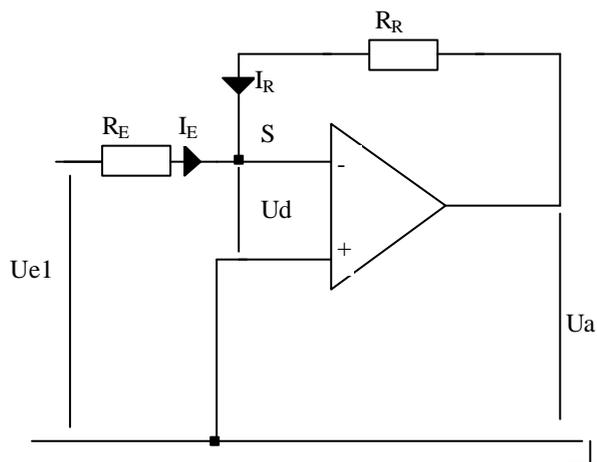
III.5.1 Komparator



Die Beschaltung eines OP als Komparator ist in Kap. III.2 wiedergegeben. Sie dient zur Verstärkung von Kleinstspannungen, bei denen nur Schwellwerte interessieren. Beim Komparator gibt es keine Rückkopplung zwischen U_a und U_e . Der Ausgang kann nur die Spannungspegel $+U_B$ und $-U_B$ annehmen.

Die nebenstehende Schaltung vergleicht das Eingangssignal U_{e1} mit einer Gleichspannung von 5V. Am Ausgang liegt $-U_B$, solange U_{e1} größer als 5V ist.

III.5.2 Invertierender Verstärker



Der invertierende Verstärker besitzt mit dem Widerstand R_R eine Rückkopplung zwischen Aus- und Eingang.

In der Praxis interessieren zur Dimensionierung in der Regel die Spannungsverstärkung U_a/U_e und der Eingangswiderstand R_{ein} der Schaltung.

Zum einfachen Verständnis bezieht man sich auf zwei Kennwerte des idealen OP:

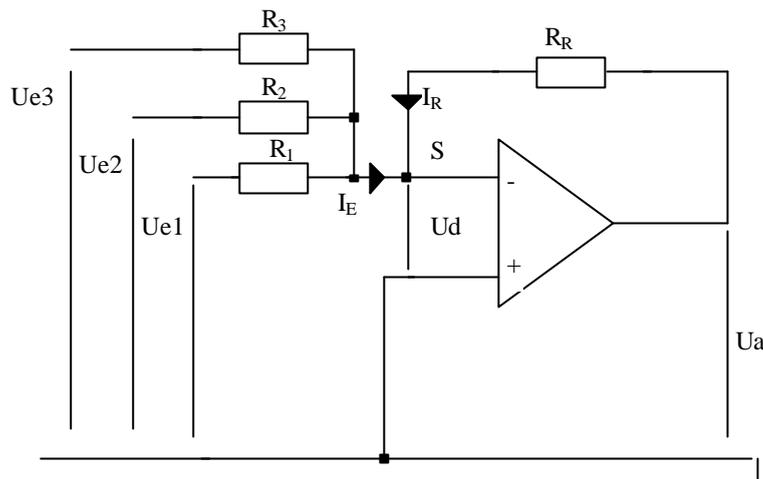
- 1) die Verstärkung des OP selbst ist ∞
- 2) der Eingangswiderstand des OP selbst ist ∞

Aus Annahme 1 und der Gleichung $U_a = V_u \cdot U_d$ folgt bei endlicher Ausgangsspannung $U_d = 0$. Damit herrscht auch am Summenpunkt S nahezu Massepotential. Der wirksame Widerstand zwischen U_{e1} und Masse ist damit direkt der Widerstand R_E . Aus Annahme 2 folgt, daß kein Strom in den nicht invertierenden Eingang des OP hineinfließt, d.h. $I_E = -I_R$. Daraus läßt sich die Verstärkung der Schaltung bestimmen:

aus $I_E = U_{e1} / R_E$ und $I_R = U_a / R_R$ folgt:

$$U_a = -U_{e1} \cdot (R_R / R_E)$$

III.5.3 Summierverstärker (Analogaddierer)



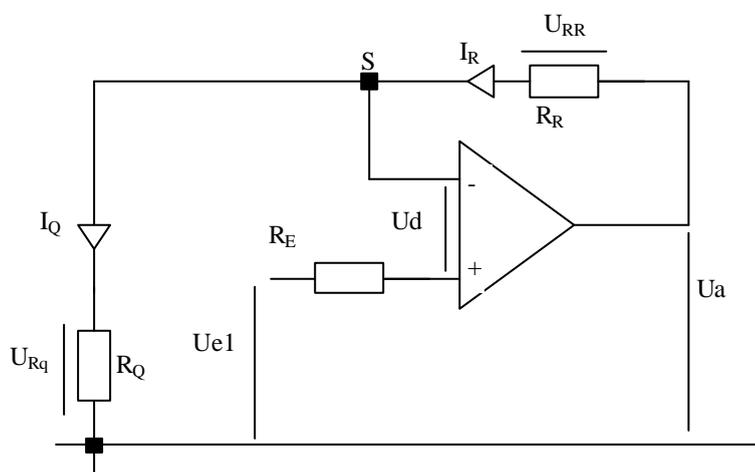
Mit dem Summierverstärker kann die arithmetische Summe mehrerer Eingangsspannungen gebildet werden. Unter den o.g. Voraussetzungen für Eingangswiderstand und Verstärkung erhält man

$$-U_a = R_R/R_1 \cdot U_{e1} + R_R/R_2 \cdot U_{e2} + R_R/R_3 \cdot U_{e3}$$

Wählt man alle Widerstände gleich groß, also $R_1 = R_2 = R_3 = R_R$, so ergibt sich

$$-U_a = U_{e1} + U_{e2} + U_{e3}$$

III.5.4 Nicht-invertierender Verstärker



Der nicht-invertierende Verstärker kommt für Signale zum Einsatz, die ohne Phasendrehung verstärkt werden müssen. Der Verstärkungsfaktor kann aus den gleichen Voraussetzungen hergeleitet werden wie beim invertierenden Verstärker.

- 1) die Verstärkung des OP ist ∞
- 2) der Eingangswiderstand des OP ist ∞

Man erhält wieder aus 1) bei endlicher Ausgangsspannung $U_d = 0$ und somit am Summenpunkt S die Eingangsspannung U_{e1} . Aus Annahme 2 folgt, daß $I_R = I_Q$ ist. Damit gilt

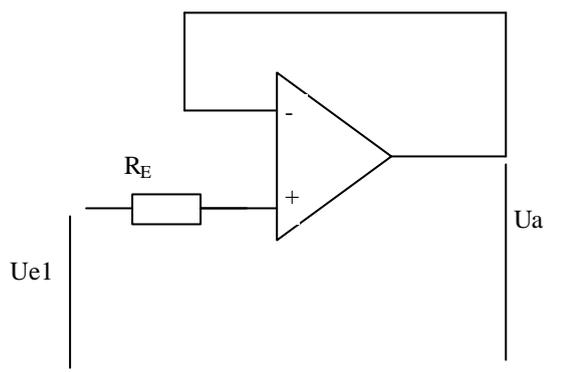
$$U_a = I_q \cdot (R_R + R_q), \quad U_{e1} = I_q \cdot R_q$$

$U_a / U_{e1} = (I_R \cdot (R_R + R_q)) / (I_q \cdot R_q) = (R_R + R_q) / R_q$. Durch Zusammenfassen ergibt sich

$$V_U = U_a / U_{e1} = 1 + R_R / R_q$$

Man sieht hieraus, daß sich **Verstärkungen** < 1 mit dem nicht-invertierenden Verstärker **nicht realisieren lassen**.

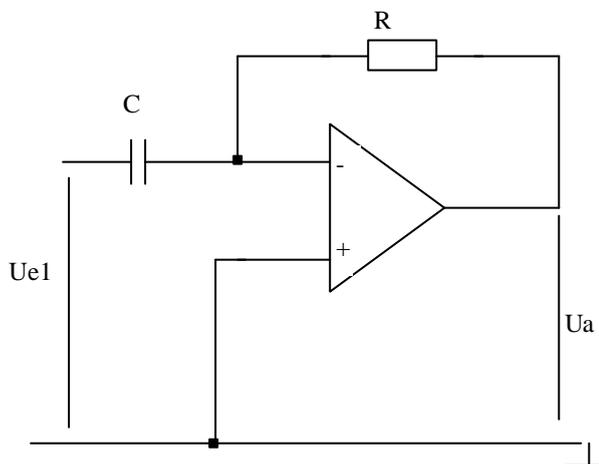
III.5.5 Impedanzwandler



Eine ebenso einfache wie wichtige Anwendung des nicht-invertierenden Verstärkers ist der *Impedanzwandler* oder *Spannungsfollower*.

Hier ist $R_R = 0$ und somit $V_U = 1$. Der Spannungsfollower liefert ein Ausgangssignal, das der Eingangsgröße identisch ist, mit Ausnahme des sehr geringen Innenwiderstandes der Schaltung, und eignet sich damit optimal für Spannungs- bzw. Leistungsanpassung hochohmiger Signalquellen.

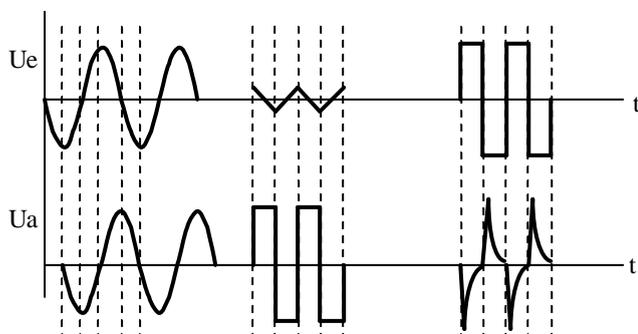
III.5.6 Differenzierer



Der Differenzierer findet vor allem Anwendung in Analogrechnern und in der Impulstechnik. Der Kondensator im Eingangskreis kann nur *Spannungsänderungen* übertragen. Das Ausgangssignal repräsentiert somit die Funktion

$$-U_a \sim dU_e / dt.$$

Rechnerisch gesehen entspricht der Differenzierer einem invertierenden Verstärker, d.h. die Verstärkung verhält sich proportional zur Impedanz im Rückkopplungsweig (R) und umgekehrt proportional zur Impedanz im Eingangszweig ($1/j\omega C$).

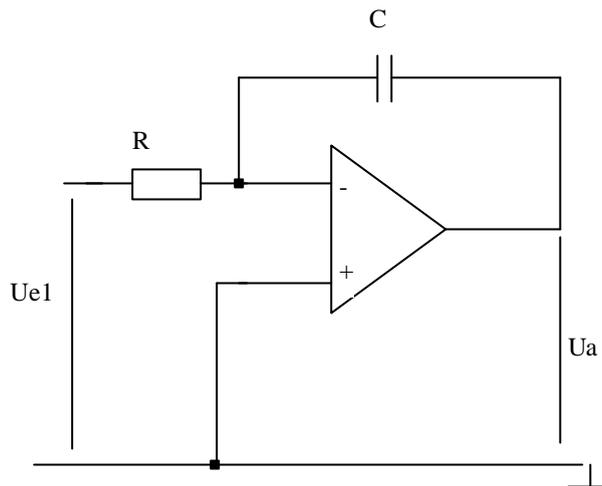


Übertragungsfunktion des Differenzierers für Rechteck-, Dreieck- und Sinusspannungen.

Für alle Eingangsspannungen gilt

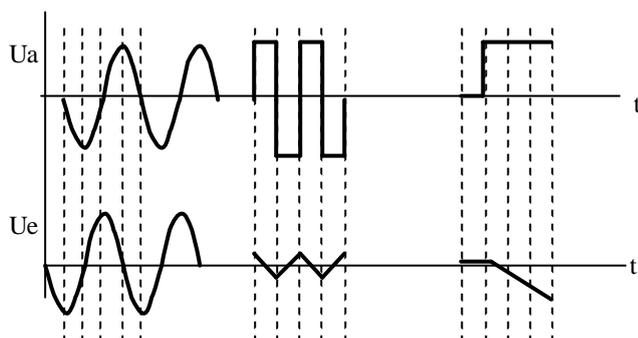
$$\boxed{-U_a = R * C * dU_e / dt}$$

III.5.7 Integrierer



Hier wirkt der Kondensator im Rückkopplungsweig als Integrator. Wie aus dem Funktionsdiagramm ersichtlich ist, entspricht das Ausgangssignal der Funktion

$$U_a \sim \int dU_e dt$$

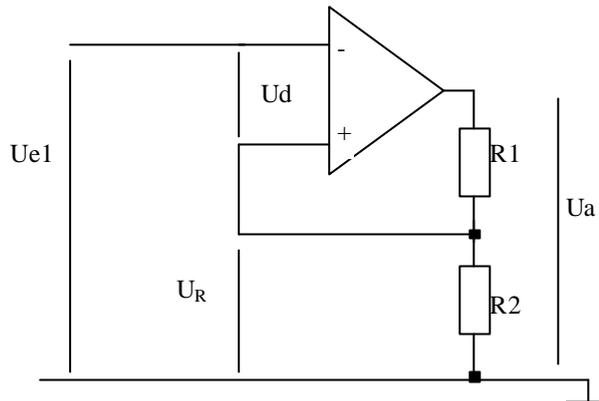


Übertragungsfunktion des Integrierers für Rechteck-, Sprung- und Sinusfunktion.

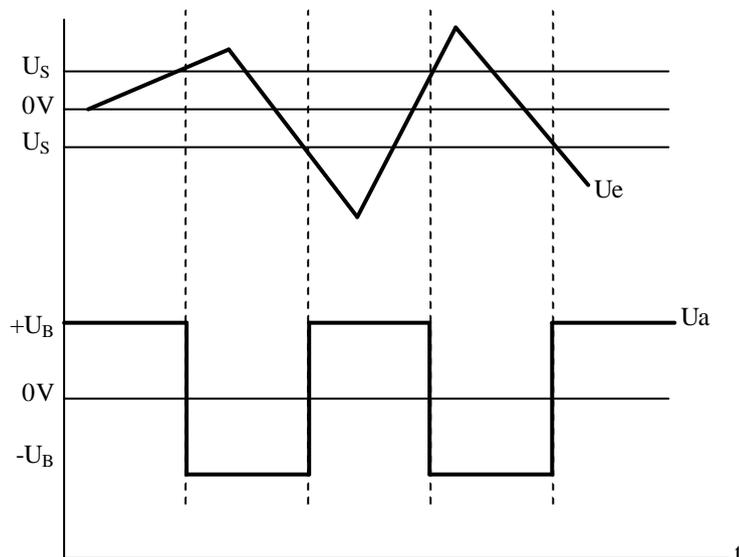
Für alle Eingangsspannungen gilt

$$U_a = 1 / (R \cdot C) \cdot \int dU_e dt$$

III.5.10 Schmitt-Trigger



Beim Schmitt-Trigger wird ein Teil der Ausgangsspannung auf den nicht-invertierenden Eingang des OP zurückgekoppelt. Man erzielt dadurch eine Mitkopplung im Schaltverhalten, was eine sehr hohe Flankensteilheit zur Folge hat. Schmitt-Trigger arbeiten grundsätzlich mit einer Hysterese.



Zum Verständnis kann man zunächst davon ausgehen, daß $U_a = +U_B$ ist. Damit hat man am nicht-invertierenden Eingang ein positives Potential U_r gegenüber Masse. Um den Schalter zu "kippen", muß also am invertierenden Eingang eine Spannung $U_{S1} > U_r$ auftreten. Die beim Umschalten des OP entstehende negative Ausgangsspannung wird wiederum über den Spannungsteiler auf den nicht-invertierenden Eingang zurückgekoppelt, die

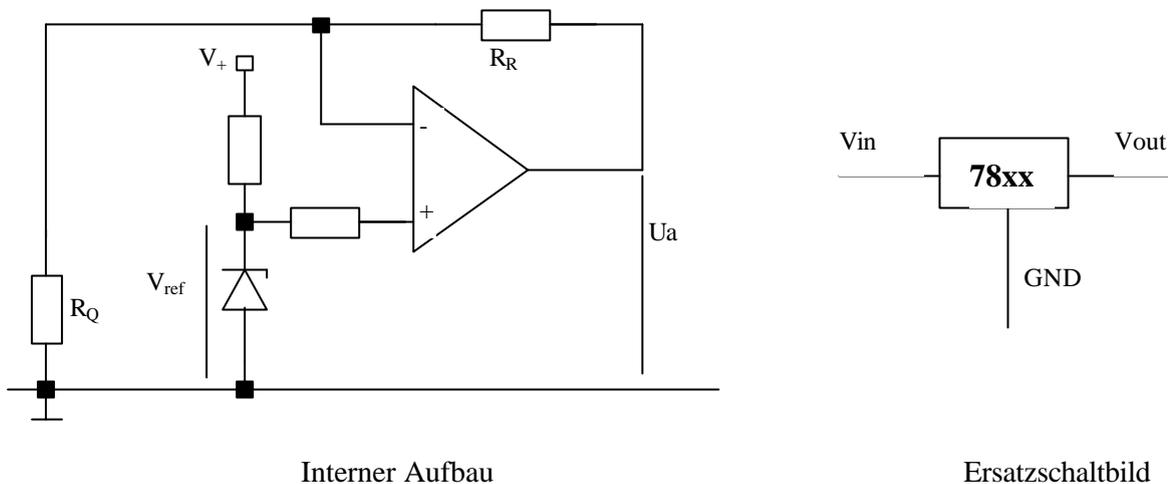
Differenzeingangsspannung steigt und die fallende Flanke wird dadurch steiler (Mitkopplung). Anschließend liegt eine negative U_i am nicht-invertierenden Eingang, und die Spannung U_{S2} am invertierenden Eingang muß wiederum $< U_i$ werden, um den Schmitt-Trigger umzuschalten. Der Spannungshub zwischen U_{S1} und U_{S2} ist die Hysterese des Schmitt-Triggers und ergibt sich zu

$$\Delta U_S = R1 / (R1 + R2) * \Delta U_B$$

Wegen der Möglichkeit, mit Hilfe der Mitkopplung auch extrem langsam veränderliche Eingangssignale in steile Flanken umzuwandeln, sowie wegen der problemlos zu dimensionierenden Hysterese sind Schmitt-Trigger in der Meß- und Regeltechnik von eminenter Bedeutung.

III.6 Applikationen

III.6.1 Festspannungsregler (Fixed Voltage Regulator)



Bei Festspannungsreglern sind die Widerstände R_R und R_Q sowie die Referenzspannung V_{ref} in Form einer Zenerdiode fest integriert. Die Spannung V_{in} im Ersatzschaltbild entspricht der positiven Versorgungsspannung V_+ , die negative Spannungsversorgung V_- des OP ist mit Masse verbunden. Mit den Gleichungen, die für den nicht-invertierenden Verstärker gelten, erhält man

$$V_{out} = V_{ref} * (1 + R_R / R_Q)$$

z.B. 5.0V für $V_{ref} = 1.25V$ und $R_R = 3 * R_Q$. Wie man sieht, ist V_{out} innerhalb folgender Grenzen unabhängig von V_+ :

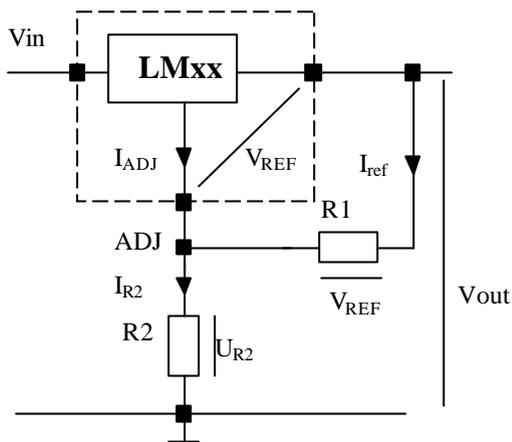
V_+ darf eine bestimmte Obergrenze nicht überschreiten (Verlustleistung des Reglers)

V_- darf eine bestimmte Untergrenze nicht unterschreiten (minimaler Z-Strom)

Beide Grenzen findet man im Datenblatt des jeweiligen Spannungsreglers. Die Untergrenze ist dabei als sog. Differential-Voltage angegeben ($V_{in} - V_{out}$). Typische Werte sind 2..3V.

Für die Obergrenze müssen die Werte auch von der Strombelastung abhängig gemacht werden, da auch die elektrische Leistung des Reglers ein kritischer Wert sein kann. Wie für jedes Bauteil gilt auch hier $P = U * I$, wobei U die Gesamtspannung ist, die über dem Regler abfällt (also $V_{in} - V_{out}$), I der Strom, den der Regler liefern muß.

III.6.2 Einstellbare Spannungsregler (Adjustable Voltage Regulator)



Hier sind die Kennwerte V_{REF} und I_{ADJ} typbedingt und fest vorgegeben. Typische Werte sind $V_{ref} = 1.25V$ und $I_{ADJ} = 50\mu A$.

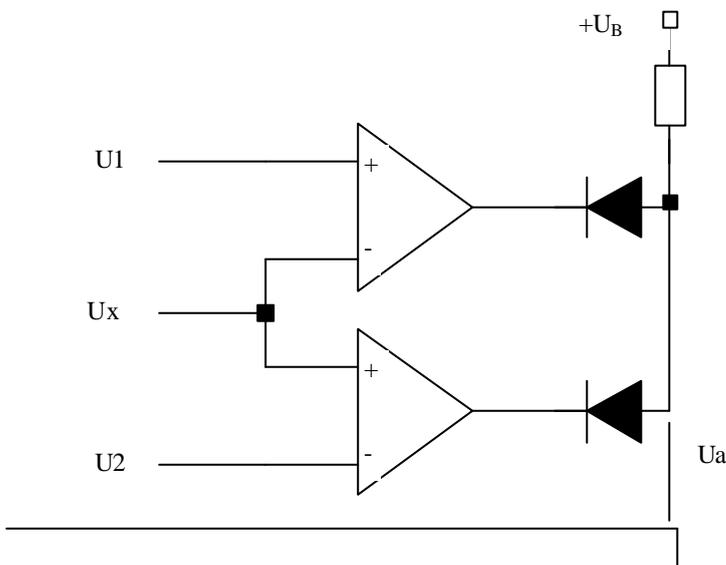
Man erhält

$$V_{out} = V_{ref} * (1 + R2 / R1) + I_{ADJ} * R2$$

$$= V_{ref} * (1 + R2 / R1)$$

für $I_{ADJ} \ll I_{ref}$. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der Strom I_{ref} zusätzlich zum Laststrom vom Regler mitgeliefert werden muß.

III.6.3 Window-Detector



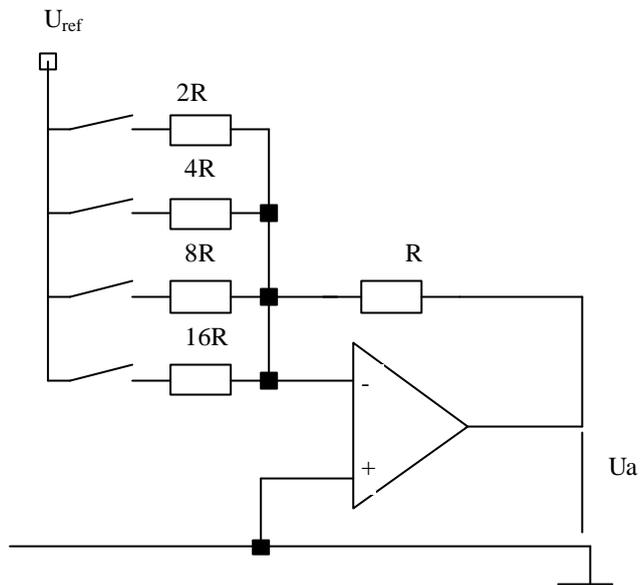
Mit dieser Schaltung läßt sich feststellen, ob sich die Spannung U_x in einem bestimmten Bereich bewegt.

Der obere Komparator liefert an seinem Ausgang $-U_B$ für $U_x > U1$ und $+U_B$ für $U_x < U1$.

Der untere Komparator liefert an seinem Ausgang $-U_B$ für $U_x < U2$ und $+U_B$ für $U_x > U2$.

Nur wenn beide Komparatorausgänge High-Signal liefern, ist die Ausgangsspannung ebenfalls high ("wired and"). Dies ist der Fall bei $U2 < U_x < U1$.

III.6.4 Digital-Analog-Wandler



Dieses Schaltungsprinzip liegt allen Digital-Analog-Wandlern (und damit auch allen Analog-Digital-Wandlern) zugrunde. Durch die Wahl der Bewertungswiderstände nach aufeinanderfolgenden Zweierpotenzen läßt sich jede gewünschte Ausgangsspannung U_a von $0V$ bis $-15/16 \cdot U_{ref}$ erzeugen.